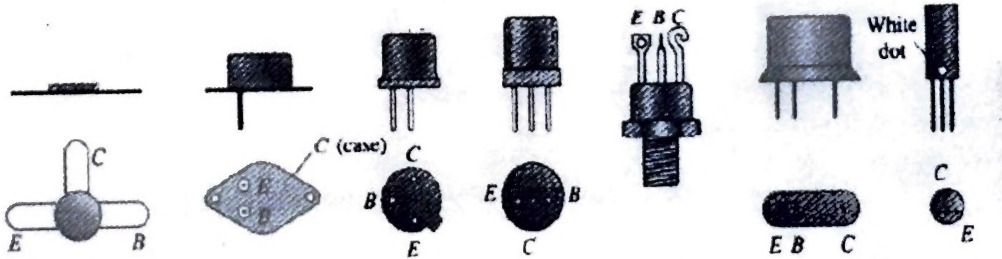
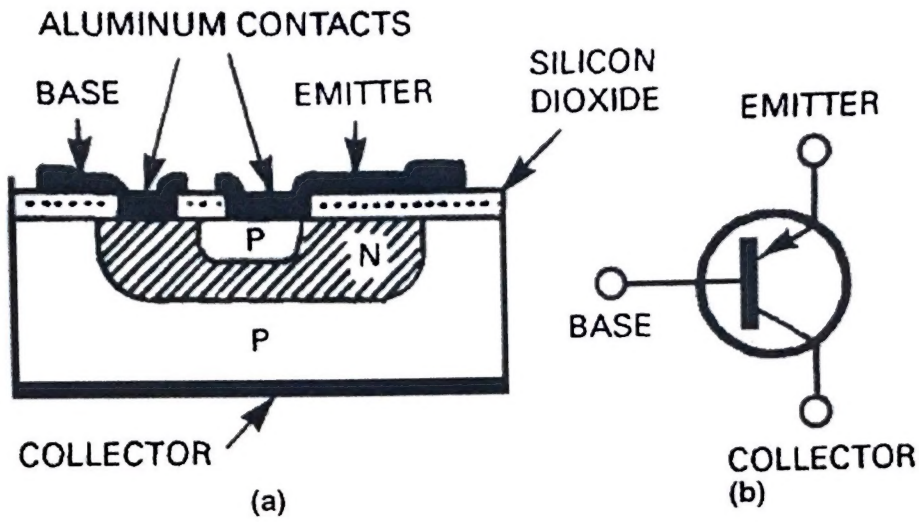


## DC Biasing – BJTs

دوائر تحييز الترانزستور

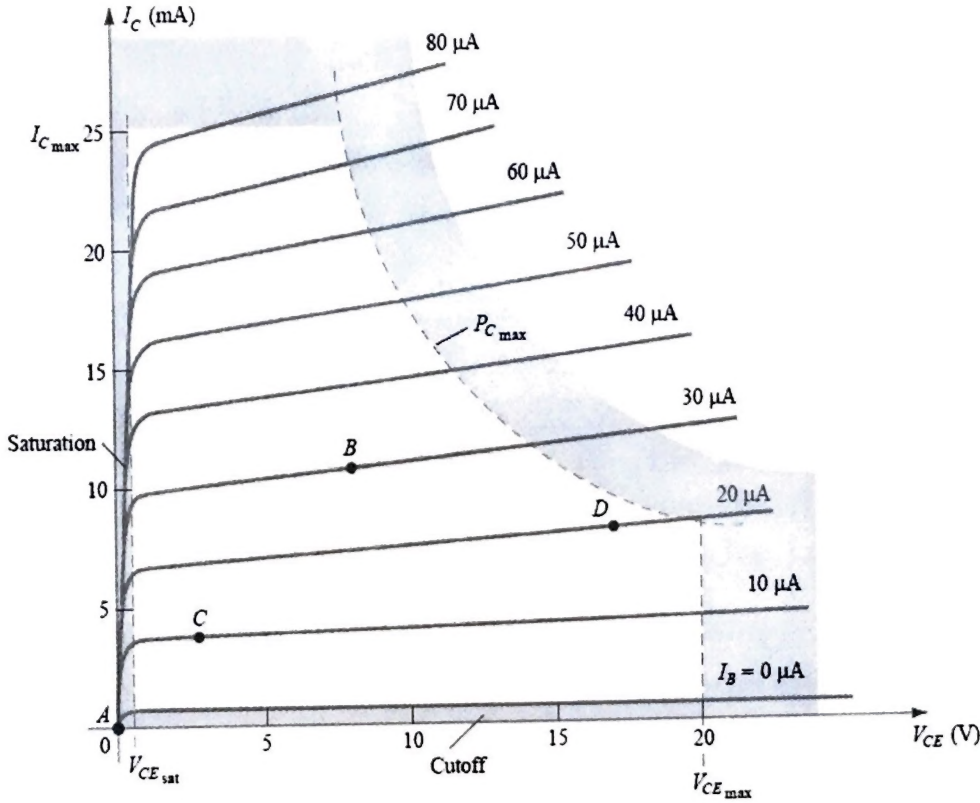


أ.م محمد علي بلحاج

خريف 2013/2014

## نقطة التشغيل للترانزستور:

التحيز يعني وضع جهود مستمرة (DC voltages) على أقطاب الترانزستور وذلك من أجل الحصول على مستويات ثابتة من التيار والجهد - لدائرة التضخيم للترانزستور يعني تيار وجهد لتحديد نقطة تشغيل الترانزستور على منحنى الخصائص - ويعني ذلك تحديد النقطة التي يتم توظيفها لعملية التضخيم (التكبير) لإشارة جهد الدخل المتردد.



شكل (1): حدود نقطة التشغيل للترانزستور

وحيث ان نقطة التشغيل هي نقطة ثابتة على منحنيات الخصائص فهي تسمى النقطة الهامدة (الساكنة) او نقطة التشغيل ويرمز لها بالرمز (Q - point). الشكل رقم (1) يبين منحنيات خصائص معاملات الخرج للترانزستور مبينا عليها اربع نقاط عمل (تشغيل) للترانزستور هي (A, B, C, D).

دائرة التحيز يمكن ان تصمم لوضع نقطة تشغيل الترانزستور عند اي من تلك النقاط او اية نقطة اخرى في منطقة النشاط (المنطقة الفعالة). كذلك يبين الشكل (1) الحدود القصوى لمعاملات الترانزستور (اقصى جهد - اقصى تيار - اقصى قدرة) على النحو التالي:

- الخط الافقي في اعلى الشكل يبين اقصى قيمة لتيار المجمع ( $I_{Cmax}$ )
- الخط العمودي في اقصى يسار الشكل يبين اقصى قيمة لجهد (الباعث - المجمع) وهو ( $V_{Cmax}$ ).

- منحني أقصى قدرة للترانزستور ( $P_{Cmax}$ ).
  - في الجزء السفلي من الشكل تقع منطقة القطع وتعرف بانها المنطقة التي تقع تحت ( $I_B \leq 0$ ).
  - منطقة التشبع وتقع على يسار الشكل وتعرف بانها المنطقة عند ( $V_{CE} \leq V_{CEsat}$ ).
- الترانزستور يمكن ان يحيز للعمل خارج حدود القيم القصوى المبينة اعلاه ولكن النتيجة للعمل في خارج تلك المناطق تؤدي الى:

- قصر العمر الزمني للترانزستور
- تدمير (هلاك) الترانزستور

دعنا نحصر عملنا في المنطقة الفعالة للترانزستور حيث بإمكاننا ان نختار العديد من مناطق او نقاط التشغيل – نقطة التشغيل المختارة تعتمد على الغرض (القصد) من استخدام الدائرة – ويمكننا النظر الى بعض الاختلافات نتيجة لاختيار النقاط المبينة في الشكل السابق وتقديم بعض الافكار الاساسية حول نقطة التشغيل ودائرة التحيز.

### النقطة A

اذا كان ليس هناك اي تحيز للترانزستور – فان ذلك يعني مبدئيا ان الترانزستور في حالة عدم العمل بالكامل (Off) وهذا ينتج عنه ان نقطة التشغيل ستكون النقطة (A) المبينة في الشكل، في هذه النقطة يكون التيار خلال الترانزستور يساوي صفر والجهد عليه يساوي صفر.

حيث انه من الضروري تحيز الترانزستور بحيث يستطيع الاستجابة للنطاق الكامل لاشارة الدخل فاننا سوف نجزم بان بان النقطة (A) ليست هي النقطة المناسبة لكي تكون نقطة التشغيل.

### النقطة B

اذا تم تحديد النقطة B لتكون نقطة التشغيل للترانزستور فانه عند تطبيق اشارة الدخل على دائرة الترانزستور فان الجهد والتيار على الترانزستور سوف يتغيران حول نقطة التشغيل بما يسمح للترانزستور بالاستجابة (ربما التكبير) جانبي الاشارة (الموجب – السالب) – اذا تم اختيار اشارة الدخل بشكل مناسب (كما ينبغي) فان الجهد والتيار للترانزستور سوف يتغير ولكنه ليس كافيا لوضع الترانزستور في منطقتي القطع او التشبع – (اي بمعنى ان هذه النقطة تكون مناسبة كنقطة تشغيل للترانزستور).

### النقطة C

النقطة C تسمح لبعض الاجزاء من الجانب الموجب والجانب السالب لاشارة الخرج – ولكن تغير الاشارة من القمة الموجبة الى القمة السالبة سوف يحد منه قرب نقطة التشغيل من جهد  $V_{CE}$  القريب من الصفر - تشغيل الترانزستور عند تلك النقطة يثير بعض القلق من عدم الحصول على الخطية (Linearity) والتي يكون سببها ان الابعاد بين قيم تيار القاعدة ( $I_B$ ) تتغير بسرعة في تلك المنطقة.

وبصفة عامة فانه من الافضل تشغيل الترانزستور حيث يكون الكسب ثابت (او خطي) - وللتأكد من ان التكبير يشمل المدى الكامل للإشارة فان النقطة B هي المناسبة لتكون نقطة التشغيل.

### D النقطة

هذه النقطة تضع الترانزستور يعمل بالقرب من نقطة اقصى قدرة ونقطة اقصى جهد وبالتالي فان الجزء الموجب من اشارة الخرج سوف يحد منه نتيجة لقربه من نقطة اقصى جهد - وبالتالي نرجع للتأكيد بان النقطة B هي المناسبة لتكون نقطة تشغيل الترانزستور.

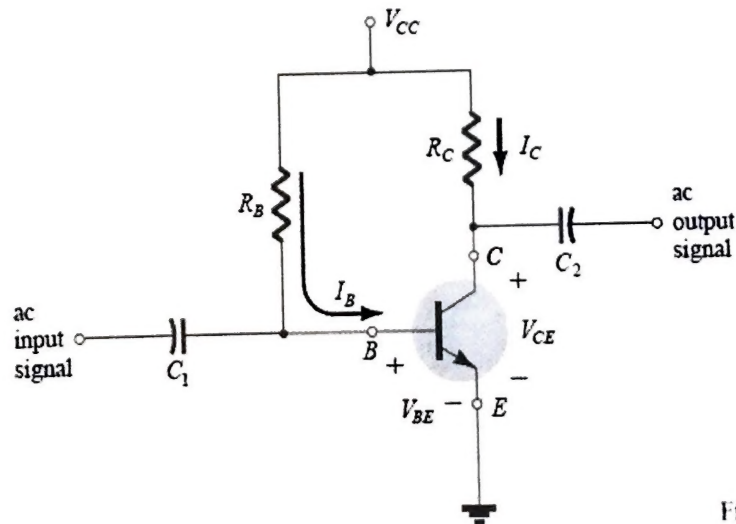
عامل اخر مهم يجب اخذه في الاعتبار عند تحييز الترانزستور وتحديد نقطة التشغيل الا وهو تأثير درجة الحرارة - هذا التأثير يتسبب في احداث تغيرات في معاملات الترانزستور مثل معامل كسب التيار ( $\beta_{ac}$ ) و تيار التسرب العكسي ( $I_{CEO}$ ).

ارتفاع درجة الحرارة يسبب في زيادة تيار التسرب العكسي وبالتالي سوف يتسبب في تغير ظروف التشغيل للترانزستور والتي تم تحديدها بدائرة التحييز - دائرة التحييز يجب ان تحقق درجة معينة من الاستقرار الحرارية بما يؤدي الى الحد من تأثير ارتفاع درجة الحرارة الى الحد الادنى بالنسبة الى وضع نقطة التشغيل.

وفيما يلي سوف نقوم بدراسة وتحليل اهم دوائر التحييز للترانزستور

### دائرة التحييز الثابتة - Fixed Bias Circuit

دائرة التحييز الثابتة المبينة في الشكل (2) تعتبر نسبياً مقدمة مبسطة لتحليل دوائر التحييز للترانزستور.



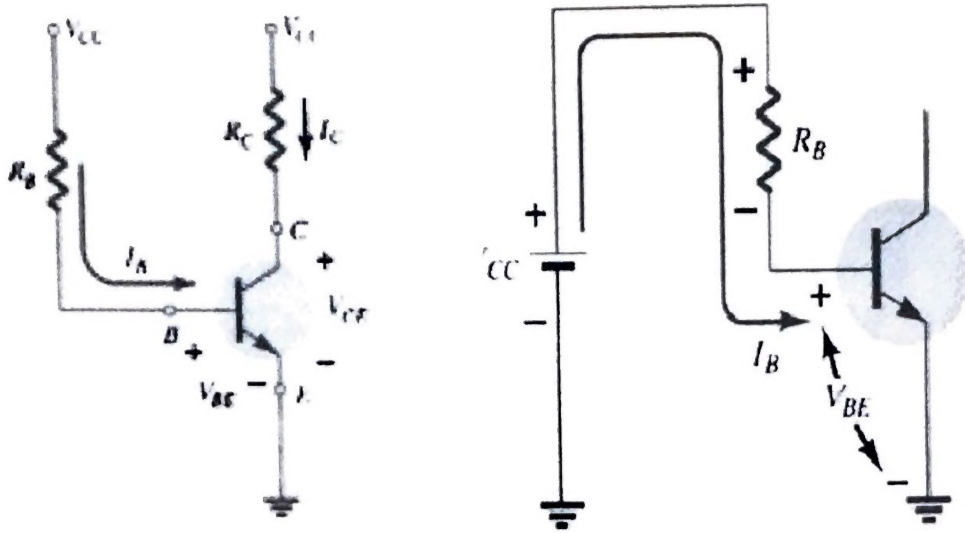
Figur

شكل (2): دائرة التحييز الثابتة للترانزستور



في هذه الدوائر سوف نستخدم الترانزستور نوع (npn) – المعادلات والحسابات التي تتم في هذا النوع يتم توظيفها تماما في تحليل الدوائر التي تحوي الترانزستور نوع (pnp) بعد تغيير اتجاه التيارات واتجاه قطبية الجهود.

لتحليل الدائرة السابقة تحت تأثير الجهد المستمر يمكن ان تعزل عن تأثير الجهد المتردد بوضع المكثفات دوائر مفتوحة عند كل من دائرتي الدخل والخرج وبالتالي تصبح الدائرة كما هي مبينة في الشكل (3-a).



الشكل (3): الدائرة المكافئة للدائرة السابقة تحت تأثير الجهد المستمر  
نلاحظ ان الجهد  $V_{CC}$  في الدائرة للصلية يؤثر على المقاومتين  $R_C$  و  $R_B$  وتم فصله في الدائرة المكافئة لغرض التبسيط في الحل ولغرض فصل دائرة الدخل عن دائرة الخرج.  
والان يمكننا البدء في تحليل دائرتي الدخل والخرج كل على حده حسب الترتيب التالي:

#### التحيز الامامي لوصلة (القاعدة – الباعث) – Forward Bias of Base - Emitter

##### :Junction

يبين الشكل (3-b) دائرة التحيز الامامي لدائرة الدخل (وصلة القاعدة الباعث) حيث يؤثر الجهد  $V_{CC}$  على القاعدة ويجعل وصلة (القاعدة – الباعث) في الانحياز الامامي ويسبب في سريان التيار ( $I_B$ ) كما هو مبين في الشكل.

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على المسار المغلق لدائرة الدخل نحصل على المعادلة التالية:

$$+V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} = 0$$

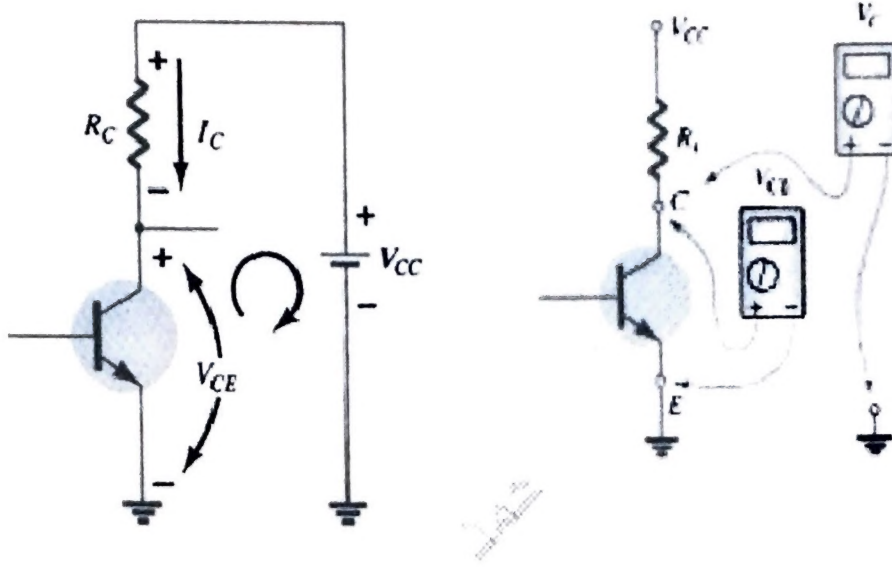
وبحل المعادلة السابقة لايجاد تيار القاعدة ( $I_B$ ) نحصل على الاتي:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

### تحليل دائرة الخرج - Collector - Emitter Loop:

دائرة الخرج الخاصة بالمسار بين المجمع والباعث مبينة في الشكل (4) وكما هو موضح فإن تيار المجمع يمر في المقاومة  $R_C$  ثم يكمل مساره الى الباعث. كما سبق وان عرفنا فان العلاقة التي تربط تيار المجمع والقاعدة يمكننا من حساب تيار المجمع حسب الاتي:

$$I_C = \beta I_B$$



شكل (4): دائرة الخرج - مستويات الجهد في دائرة الخرج

تيار الدخل  $I_B$  يتم التحكم فيه بمستوى المقاومة  $R_B$  - تيار المجمع مرتبط بتيار القاعدة عن طريق المعامل  $\beta$  وبالتالي فإن تيار المجمع ليس دالة في المقاومة  $R_C$  - التغير في قيمة المقاومة  $R_C$  لا يؤثر في مستوى تيار القاعدة والباعث ما دام الترانزستور يعمل في منطقة النشاط. ولكن مستوى المقاومة  $R_C$  سوف يحدد قيمة الجهد  $V_{CE}$  وهو احد العوامل المهمة. بتطبيق قانون كيرشوف في اتجاه عقارب الساعة على المسار المغلق في دائرة الخرج المبينة في الشكل السابق نحصل على الاتي:

$$V_{CE} + I_C R_C - V_{CC} = 0$$

ومن خلال هذه المعادلة يمكن ايجاد قيمة الجهد  $V_{CE}$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

ويمكن ايجاد الجهد  $V_{CE}$  من المعادلة التالية:

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

ومن خلال الدائرة في الشكل السابق فإن قيمة جهد من الباعث يساوي صفر اذن

$$V_{CE} = V_C$$

بالإضافة الى ذلك فان

$$V_{BE} = V_B - V_E$$

وحيث ان  $V_E = 0$  اذن

$$V_{BE} = V_B$$

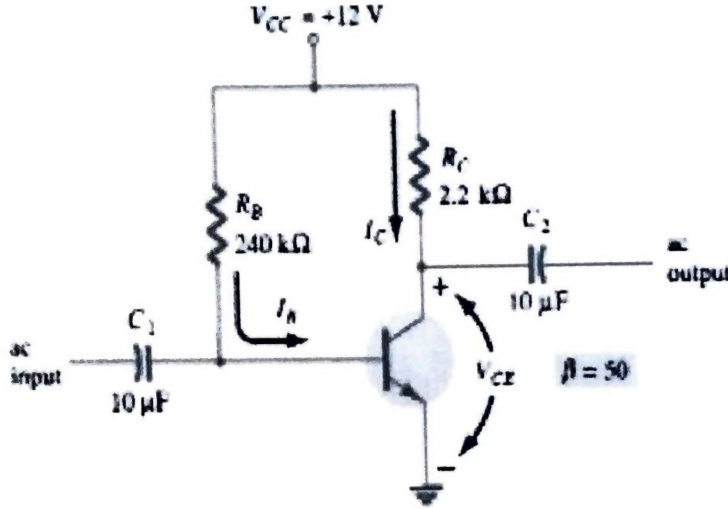
مثال:-

لدائرة التحييز الثابت المبينة في الشكل اوجد الاتي:

$I_{BQ}$  و  $I_{CQ}$  و  $V_{CEQ}$  و  $V_B$  و  $V_C$  و  $V_{BC}$ .

الحل:-

يمكن اتباع نفس الخطوات التي تم تناولها في الشرح السابق او التعامل مع الدائرة بشكل مباشر واستخدام المعادلات السابقة.



المكثفات تربط كل من مصدر الجهد المتردد مع دائرة الدخل والحمل مع دائرة الخرج. عند تحليل الدائرة تحت تأثير الجهد المستمر يتم اعتبار المكثفات دائرة مفتوحة ويعاد رسم الدائرة المكافئة بدون مصدر جهد الدخل المتردد والحمل. - يتم حساب تيار القاعدة من خلال دائرة الدخل حسب الاتي:

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{240 \text{ k}\Omega} = 47.08 \mu\text{A}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = (50)(47.08 \mu\text{A}) = 2.35 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned}
 V_{CE_Q} &= V_{CC} - I_C R_C \\
 &= 12 \text{ V} - (2.35 \text{ mA})(2.2 \text{ k}\Omega) \\
 &= 6.83 \text{ V}
 \end{aligned}$$

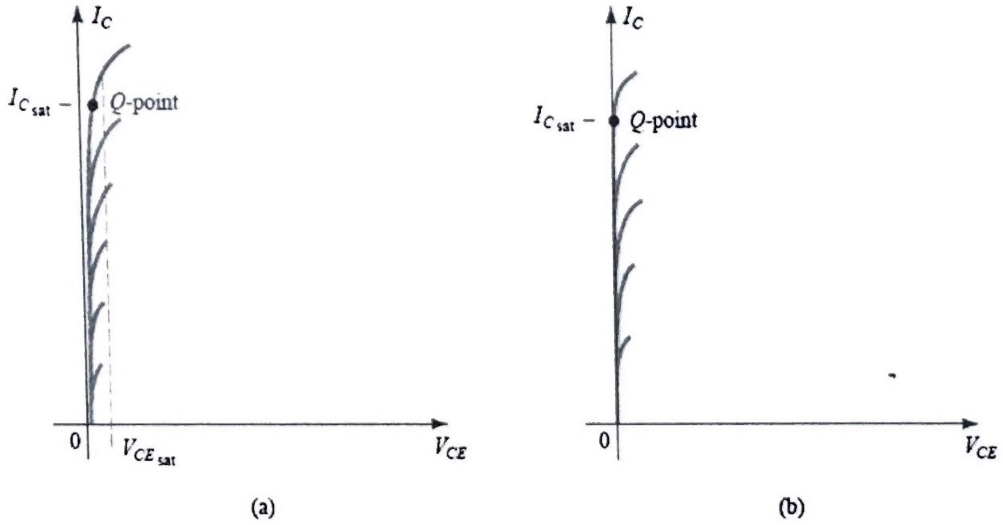
$$\begin{aligned}
 V_B &= V_{BE} = 0.7 \text{ V} \\
 V_C &= V_{CE} = 6.83 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{BC} &= V_B - V_C = 0.7 \text{ V} - 6.83 \text{ V} \\
 &= -6.13 \text{ V}
 \end{aligned}$$

الإشارة السالبة للجهد تعني ان هذه الوصلة في انحياز امامي وهو ما يجب ان تكون عليه.

#### الترانزستور عند التشبع:

مصطلح التشبع يطبق على اي نظام (منظومة) عندما تصل مستوياتها الى اقصى قيمة لها (الاسفنجية المتشبعة لا تستطيع امتصاص مزيدا من السوائل ولو بمقدار نقطة واحدة). لكي يكون الترانزستور في منطقة التشغيل يجب ان يكون التيار في اقصى قيمة له - اعلى مستوى للتشبع يعرف بانه اقصى قيمة لتيار المجمع والتي في العادة تكون معطاة في كتيب المواصفات للترانزستور.



شكل (5): نقطة تشغيل الترانزستور في منطقة التشبع

حالة التشبع عادة ما يتم تجنبها لان وصلة (القاعدة - المجمع) لا تبقى في حالة الانحياز العكسي وإشارة الخرج سوف تكون مشوهة.

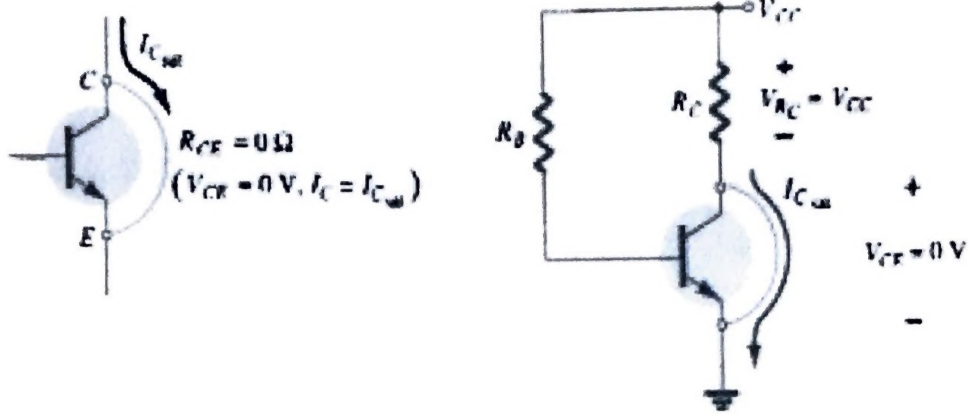
الشكل (5) يبين نقطة تشغيل للترانزستور في منطقة التشبع - لاحظ ان المنحنيات في هذه المنطقة متداخلة وجهد (المجمع - الباعث) عند او اقل من الجهد ( $V_{CE \text{ sat}}$ )، بالإضافة الى ذلك فان تيار المجمع سوف يكون نسبيا عالي القيمة في منحنيات خواص الترانزستور. اذا تم تقريب المنحنيات التي في الشكل (a) حسب ما تظهر في الشكل (b) فانه بالامكان استخدام طريقة سريعة لتحديد مستويات التشبع سوف تصبح اكثر وضوحا.



في تلك المنطقة نلاحظ ان التيار نسبيا عالي المستوى وان الجهد ( $V_{CE}$ ) يمكن فرضه بانه يساوي صفر وبتطبيق قانون اوم فان المقاومة بين المجمع والباعث يمكن تحديدها حسب الاتي:

$$R_{CE} = \frac{V_{CE}}{I_C} = \frac{0 \text{ V}}{I_{C_{sat}}} = 0 \Omega$$

بتطبيق هذه النتيجة سوف تؤدي الى الوضع المبين في دائرة الترانزستور المبينة في الشكل (6).



شكل (6): كيفية تحديد وحساب تيار التشبع

لحساب القيمة القصوى لتيار المجمع (مستوى التشبع) لغرض تصميم معين فان الامر بغاية البساطة حيث يتم ذلك من خلال وضع دائرة قصر بين المجمع والباعث ثم يتم حساب مستوى التيار الناتج. لدائرة التحيز الثابت يتم وضع دائرة قصر كما هو مبين في الشكل (6-b) ويتم حساب تيار التشبع كما يلي:

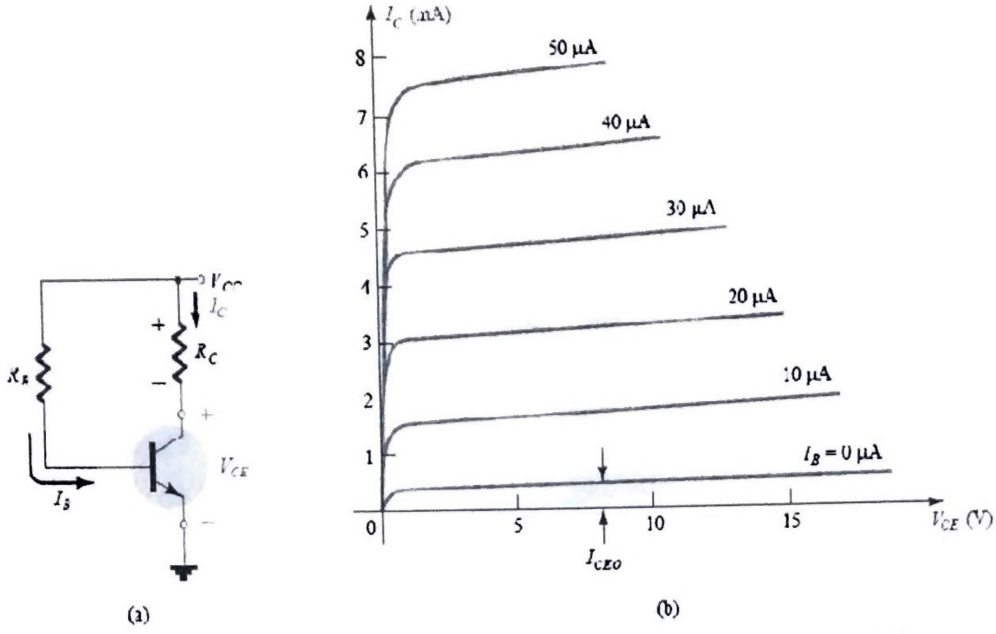
$$I_{C_{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

#### التحليل بطريقة خط الحمل – Load – Line analysis:

سوف نقوم الان ببحث دور معاملات دائرة الترانزستور في تحديد مدى منطقة التشغيل وكيفية تحديد نقطة التشغيل (Q-point) فعليا. الدائرة المبينة في الشكل (7) من خلالها يتم الحصول على معادلة تربط العلاقة بين تيار المجمع ( $I_C$ ) والجهد بين (المجمع – الباعث)  $V_{CE}$  حسب التالي:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

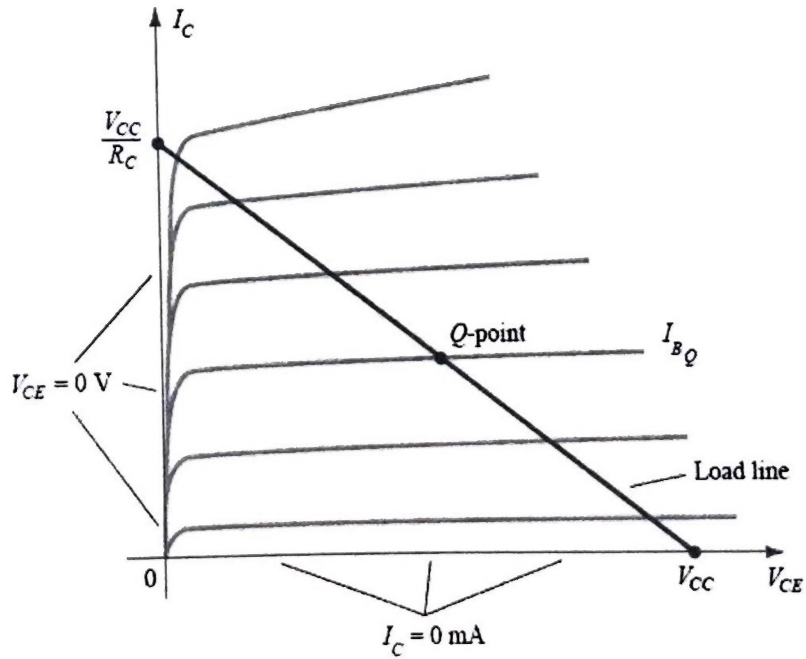
منحنيات خصائص دائرة الخرج هي كذلك تربط نفس المتغيرات التي سبق بيانها في المعادلة السابقة وهي  $I_C$  and  $V_{CE}$ . كما هي مبينة في الشكل (7-b). المعادلة السابقة هي معادلة للخط المستقيم ومنها يمكن تحديد نقطتي نهايتي الخط على منحني الخصائص بنفس الطريقة التي تم اتباعها في تحديد خط الحمل لدوائر الثنائي.



شكل (7): دائرة التحيز الثابت ومنحنيات خصائص الخرج للتحليل بطريقة خط الحمل  
يتم التعويض في المعادلة بقيمة تيار المجمع ( $I_C = 0$ ) ومنها نحصل على الاتي:

$$V_{CE} = V_{CC} - (0)R_C$$

$$V_{CE} = V_{CC} | I_C = 0 \text{ mA}$$



شكل (8): خط الحمل وتحديد نقطة التشغيل

وعند التعويض في المعادلة بقيمة ( $V_{CE} = 0$ ) نحصل على الآتي:

$$0 = V_{CC} - I_C R_C$$

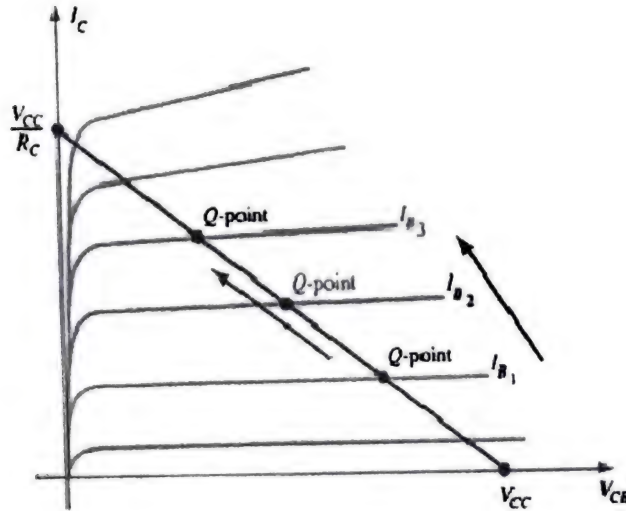
$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \Big|_{V_{CE} = 0 \text{ V}}$$

عند وصل النقطتين نحصل على خط الحمل (Load - Line) كما هو مبين في الشكل (8) وكما هو واضح فإن المقاومة  $R_C$  تلعب الدور الرئيسي في تحديد خط الحمل.

من خلال تحليل دائرة الدخل نحصل على التيار ( $I_{BQ}$ ) وبتحديد قيمة هذا التيار على منحنى خصائص الخرج نستطيع تحديد نقطة تشغيل الترانزستور كما هو مبين في الشكل السابق.

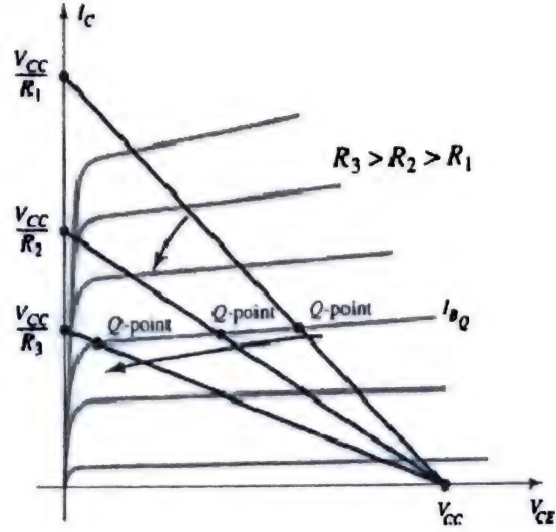
وضع خط الحمل ونقطة التشغيل يمكن ان تتغير حسب التغير في معاملات دائرة الترانزستور كما هو موضح في الخطوات التالية:

- اذا تغير تيار القاعدة نتيجة للتغير في المقاومة  $R_B$  فان نقطة التشغيل تتحرك الى اعلى والى اسفل كما هو مبين في الشكل (9).

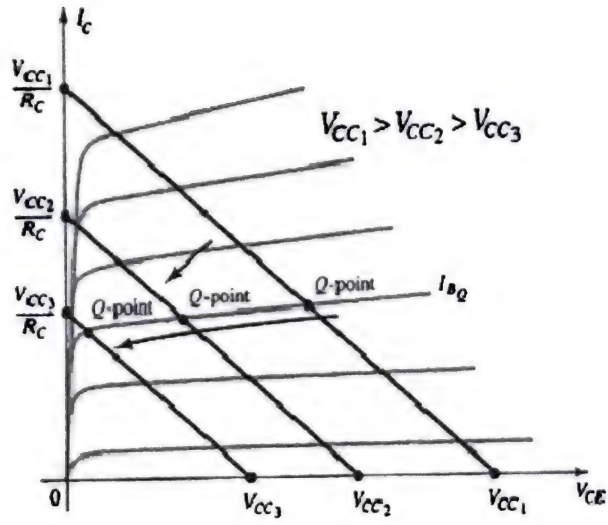


شكل (9): تغير نقطة التشغيل بسبب تغير تيار القاعدة

- اذا كان الجهد  $V_{CC}$  ثابتا وتم تغيير المقاومة  $R_C$  فان خط الحمل سوف يزاح كما هو مبين في الشكل (10) تبعا للتغير في قيمة  $R_C$
- اذا كانت المقاومة  $R_C$  ثابتة وتم تغيير  $V_{CC}$  فان خط الحمل سوف يزاح كما هو مبين في الشكل (11).



شكل (10): تغير خط الحمل بسبب تغير قيمة مقاومة الحمل  $R_C$

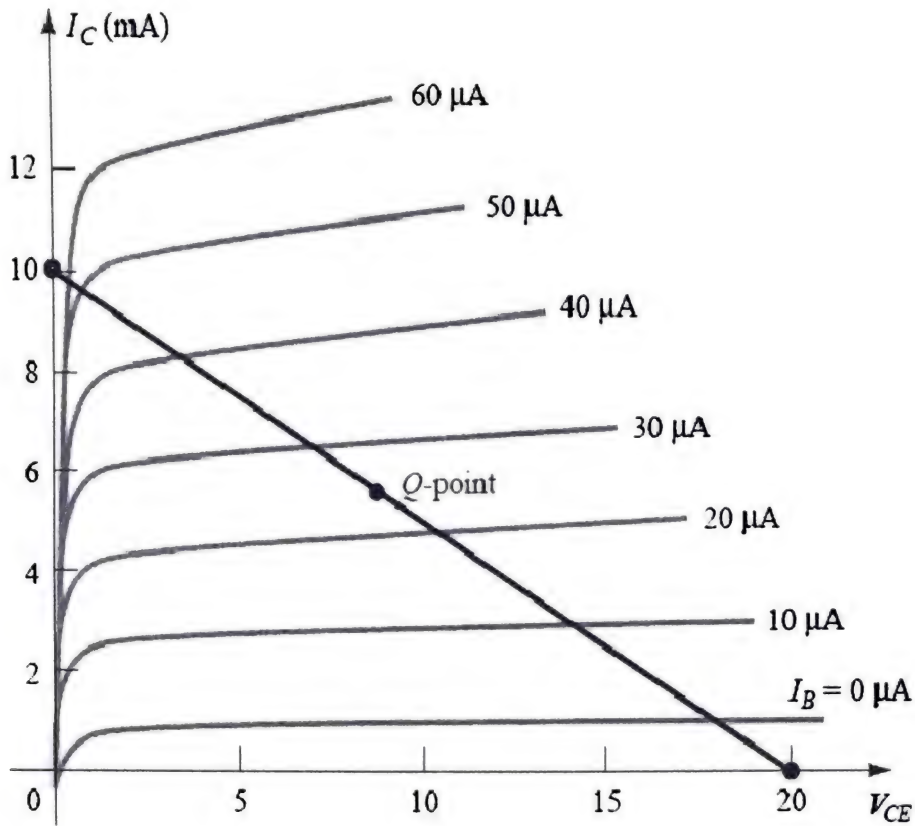


شكل (11): تغير خط الحمل بسبب تغير قيمة الجهد  $V_{CC}$



مثال:

الشكل التالي يبين نقطة التشغيل وخط الحمل لدائرة التحييز الثابت للترانزستور - اوجد كل من  $V_{CC}$ ,  $R_C$ ,  $R_B$ .



الحل:

$$V_{CE} = V_{CC} = 20 \text{ V at } I_C = 0 \text{ mA}$$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \text{ at } V_{CE} = 0 \text{ V}$$

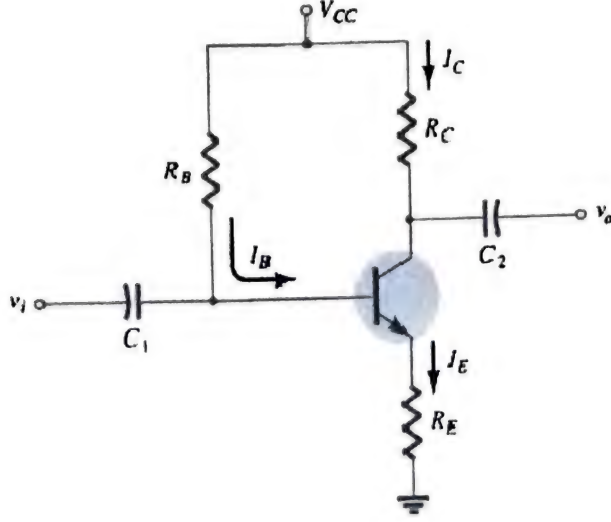
$$R_C = \frac{V_{CC}}{I_C} = \frac{20 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 2 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{20 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{25 \mu\text{A}} = 772 \text{ k}\Omega$$

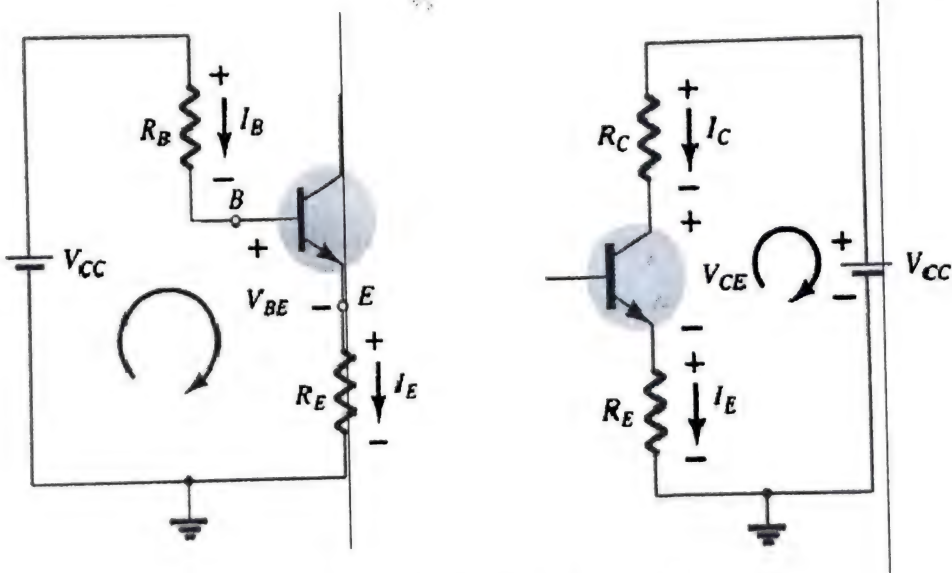
### دائرة تحييز الباعث المستقرة – Emitter Stabilized Bias Circuit:

هذه الدائرة هي عبارة عن تطوير لدائرة التحييز الثابت التي سبق تناوله ويتم ذلك باضافة مقاومة توصل مع الباعث لغرض تحسين مستوى الاستقرار، الشكل (12) يبين تفاصيل الدائرة.



شكل (12): دائرة تحييز الباعث المستقرة

تحليل هذه الدوائر يتم أولاً بتحليل الحلقة المحصورة بين القاعدة والباعث ويتم استخدام النتائج في تحليل حلقة المجمع – الباعث. الشكل (13) يبين دائرتي الحلقتين. وسنقوم بتحليل تلك الدوائر كما سيأتي:



شكل (13): دائرتي حلقتي الدخل والخرج

### حلقة (القاعدة – الباعث) – Base – Emitter Loop:

بتطبيق قانون كيرشوف على المسار المغلق بين القاعدة والباعث في اتجاه عقارب الساعة نحصل على المعادلة التالية:

$$+V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

باستخدام العلاقة التي سبق اثباتها في الفصل السابق

$$I_E = (\beta + 1)I_B$$

بالتعويض بقيمة تيار الباعث في المعادلة الاولى نحصل على الاتي:

$$V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} - (\beta + 1)I_B R_E = 0$$

بإعادة ترتيب حدود المعادلة نحصل على

$$-I_B(R_B + (\beta + 1)R_E) + V_{CC} - V_{BE} = 0$$

بضرب المعادلة في (-1) نحصل على الاتي:

$$I_B(R_B + (\beta + 1)R_E) - V_{CC} + V_{BE} = 0$$

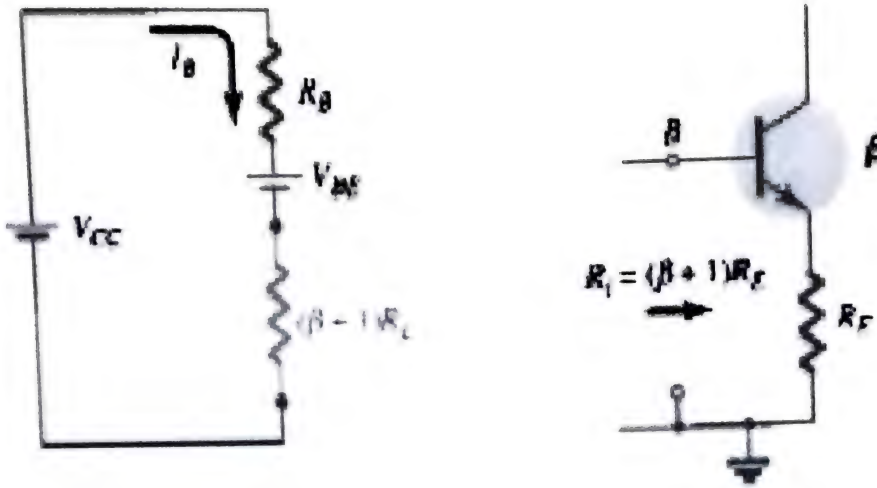
$$I_B(R_B + (\beta + 1)R_E) = V_{CC} - V_{BE}$$

وبحل المعادلة الاخيرة نحصل على تيار القاعدة ( $I_B$ )

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

نلاحظ ان هذه المعادلة تشابة المعادلة التي تم الحصول عليها في دائرة التحيز الثابت مع اضافة مقدار اخر في المقام وهو  $(\beta + 1) R_E$ .

يمكن الحصول على نتيجة مهمة من المعادلة السابقة - فاذا تم استخدام تلك المعادلة لرسم دائرة توالي مثل تلك المبينة في شكل (14-a) ومنها يمكن الحصول على تيار القاعدة ( $I_B$ ) بنفس الصيغة السابقة. وبصرف النظر عن الجهد ( $V_{BE}$ ) فاننا نلاحظ ان مقاومة الباعث  $R_E$  تنعكس الى الخلف عند دائرة الدخل (حلقة القاعدة) بمعامل قدره  $(\beta + 1)$  - اي بمعنى ان مقاومة الباعث والتي هي جزء من حلقة (المجمع - الباعث) تظهر على شكل  $R_E (\beta + 1)$  في حلقة (القاعدة - الباعث).



شكل (14): توضيح ظهور مقاومة الباعث في دائرة الدخل

$$R_i = (\beta + 1)R_E$$

#### حلقة (المجمع – الباعث) – Collector – Emitter Loop

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على حلقة (المجمع – القاعدة) المبينة في الشكل (13 - b) نحصل على الاتي:

$$+I_E R_E + V_{CE} + I_C R_C - V_{CC} = 0$$

بالتعويض عن قيمة  $(I_E \sim I_C)$  في المعادلة السابقة واعادة ترتيب حدودها نحصل على

$$V_{CE} - V_{CC} + I_C (R_C + R_E) = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

ومن خلال الدائرة نقوم بحساب مستويات الجهود المختلفة على النحو التالي:

$$V_E = I_E R_E$$

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

$$V_C = V_{CE} + V_E$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$



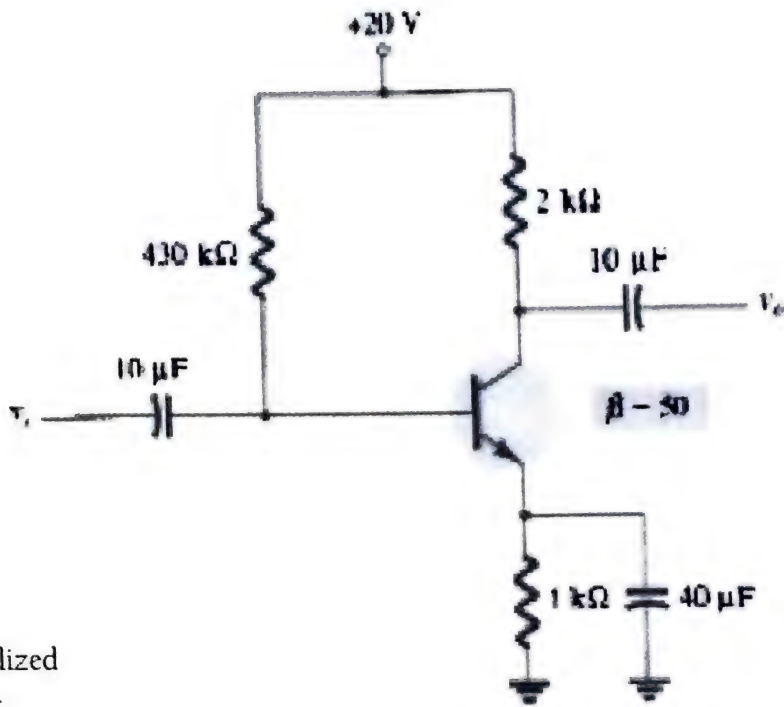
$$V_B = V_{CC} - I_B R_B$$

$$V_B = V_{BE} + V_E$$

مثال:-

لدائرة تحيز الباعث المستقرة المبينة في الشكل التالي اوجد كل من

$$I_B, I_C, V_{CE}, V_C, V_E, V_B, V_{BE}, V_{BC}$$



lized  
t.

الحل:-

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} = \frac{20\text{ V} - 0.7\text{ V}}{430\text{ k}\Omega + (51)(1\text{ k}\Omega)}$$

$$= \frac{19.3\text{ V}}{481\text{ k}\Omega} = 40.1\text{ }\mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$= (50)(40.1\text{ }\mu\text{A})$$

$$\cong 2.01\text{ mA}$$

$$\begin{aligned}
 V_{CE} &= V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \\
 &= 20 \text{ V} - (2.01 \text{ mA})(2 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega) = 20 \text{ V} - 6.03 \text{ V} \\
 &= \mathbf{13.97 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_C &= V_{CC} - I_C R_C \\
 &= 20 \text{ V} - (2.01 \text{ mA})(2 \text{ k}\Omega) = 20 \text{ V} - 4.02 \text{ V} \\
 &= \mathbf{15.98 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_E &= V_C - V_{CE} \\
 &= 15.98 \text{ V} - 13.97 \text{ V} \\
 &= \mathbf{2.01 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{or } V_E &= I_E R_E \cong I_C R_E \\
 &= (2.01 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega) \\
 &= \mathbf{2.01 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_B &= V_{BE} + V_E \\
 &= 0.7 \text{ V} + 2.01 \text{ V} \\
 &= \mathbf{2.71 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

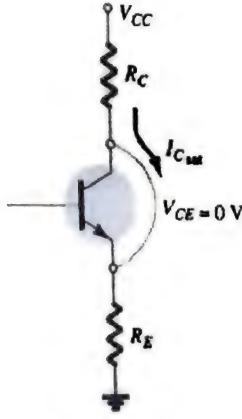
$$\begin{aligned}
 V_{BC} &= V_B - V_C \\
 &= 2.71 \text{ V} - 15.98 \text{ V} \\
 &= \mathbf{-13.27 \text{ V}} \quad (\text{reverse-biased as required})
 \end{aligned}$$

#### استقرارية الدائرة:-

اضافة المقاومة الموصلة مع الباعث تحسن من فرص استقرار الدائرة حيث ان مستويات التيارات والجهود تبقى قريبة جدا من القيم التصميمية عند تغير الظروف المحيطة بالدائرة مثل التغير في درجة الحرارة والتغير في المعامل  $\beta$ .

#### مستوى التشبع:-

اقصى قيمة لتيار التشبع (لتيار المجمع) يمكن الحصول عليه بنفس الطريقة التي تم اتباعها في السابق عن طريق قصر المجمع بالباعث عن طريق دائرة قصر كما هو مبين في الشكل (15). ومنها يتم حساب تيار المجمع كالتالي:



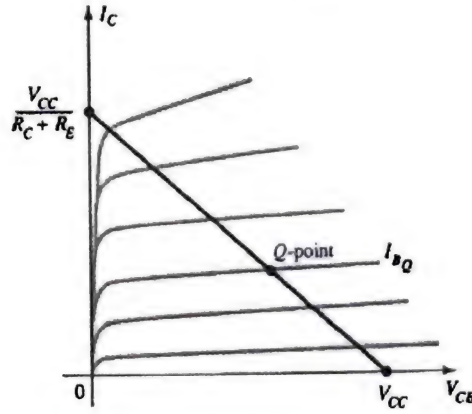
$$I_{C_{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

شكل (15): حساب تيار التشبع للمجمع

- ان اضافة المقاومة المتصلة مع الباعث سوف تقلل من قيمة تيار التشبع للمجمع بالمقارنة مع الدائرة السابقة (دائرة التحيز الثابت) لنفس قيمة المقاومة  $R_C$  وذلك كما هو موضح في المعادلة السابقة.

#### التحليل بطريقة خط الحمل:

يتم اتباع نفس الخطوات السابقة للتحليل بطريقة خط الحمل من خلال حساب تيار القاعدة وتحديد على منحنيات خصائص الخرج للثنائي - ثم يتم الحصول على المعادلة التي تربط بين تيار المجمع وجهد (المجمع - الباعث) ومنها يتم رسم خط الحمل كما هو مبين في الشكل (16).



شكل (16): خط الحمل لدائرة الباعث المستقرة

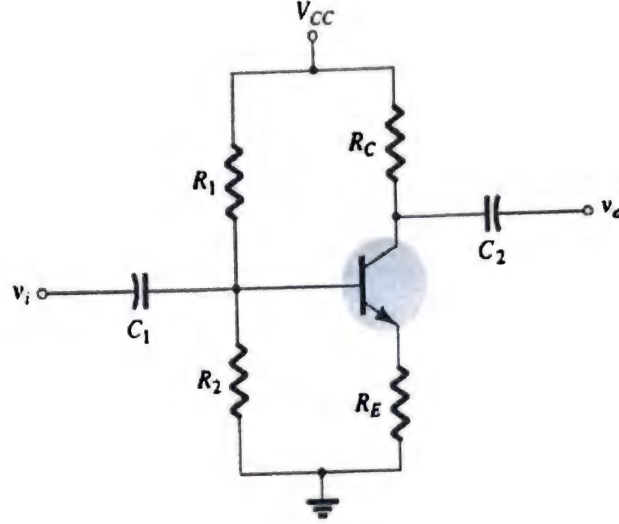
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

$$V_{CE} = V_{CC} \big|_{I_C=0 \text{ mA}}$$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \big|_{V_{CE}=0 \text{ V}}$$

### دائرة مجزئي الجهد للتحيز – Voltage – Divider Bias Circuit :

في دائرتي التحيز السابقتين كان كل من التيار  $I_{CQ}$  والجهد  $V_{CEQ}$  دالتان في معامل كسب التيار للترانزستور  $\beta$  - وحيث ان المعامل  $\beta$  حساس لدرجة الحرارة خصوصا في الترانزستور المصنوع من السيليكون - اذن يصبح من الاهمية بمكان تطوير دائرة تحيز لا تعتمد على المعامل  $\beta$  للترانزستور - هذه الدائرة تسمى دائرة مجزئي الجهد للتحيز وهي مبينة في الشكل (17).

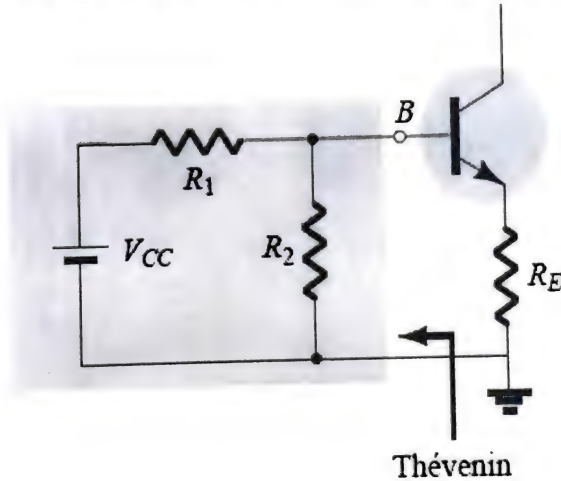


شكل (17): دائرة مجزئي الجهد للتحيز

هذه الدائرة يتم تحليلها بطريقتين هما الطريقة الدقيقة وطريقة التقريب وسيتم تناولهما كما سيأتي:

#### اولا: الطريقة الدقيقة (المحددة) – Exact Analysis :

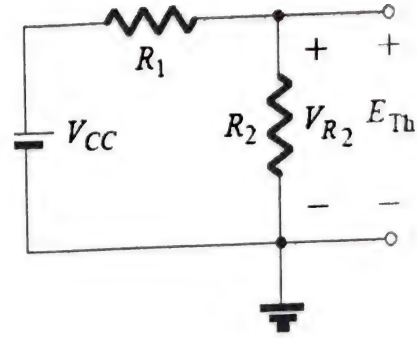
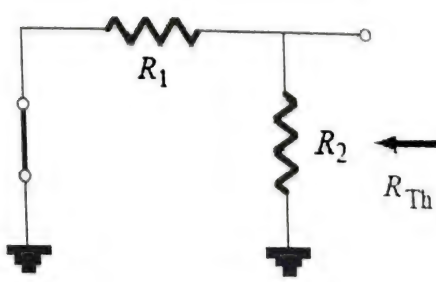
جزء الدخول لدائرة مجزئي الجهد يمكن اعادته رسمه كما هو مبين في الشكل (18).



شكل (18): دائرة الدخول بعد اعادته رسمها

كما هو مبين في الشكل نقوم بايجاد دائرة ثيفنن المكافئة لدائرة الدخول وذلك لغرض الحصول على دائرة توالي يسهل تحليلها وذلك على النحو التالي:

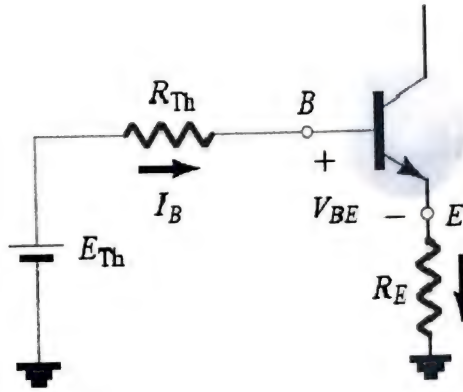




$$R_{Th} = R_1 \parallel R_2$$

$$E_{Th} = V_{R_2} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}$$

نعيد رسم دائرة الدخل بالقيم التي تم الحصول عليها بتطبيق ثيفنن كما هو مبين في الشكل (19) ومنها نقوم بحساب تيار القاعدة.



شكل (19): الدائرة المكافئة لدائرة الدخل

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على دائرة الدخل المبينة في الدائرة السابقة نحصل على

$$E_{Th} - I_B R_{Th} - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

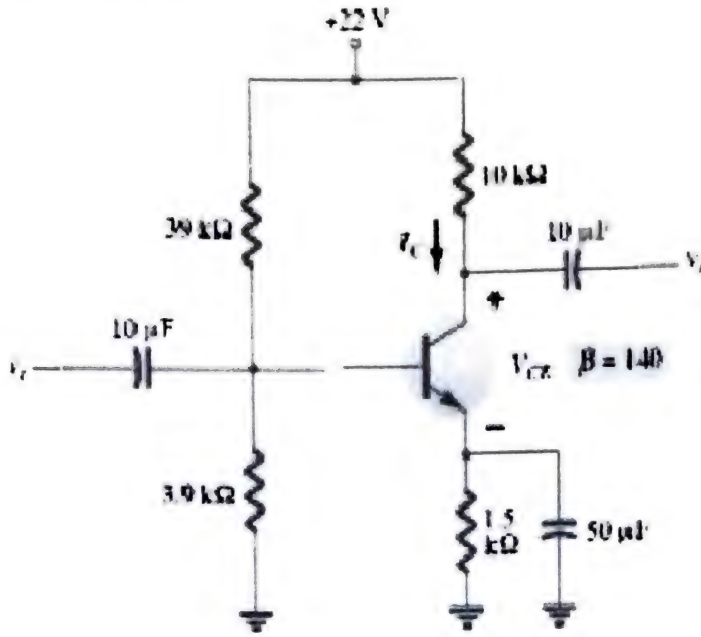
بالتعويض في المعادلة السابقة بقيمة  $I_E = (\beta + 1)I_B$  نحصل على تيار القاعدة

$$I_B = \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E}$$

معادلة دائرة الخرج (حلقة المجمع - الباعث) يتم ايجادها بنفس الطريقة التي الحصول عليها في دائرة تحييز الباعث المستقرة.

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

**مثال:-** اوجد الجهد  $V_{CE}$  والتيار  $I_C$  لدائرة مجزئي الجهد المبينة في الشكل التالي:



**الحل:-**

في البداية نقوم بحساب مقاومة ثيفين وجهد ثيفين لدائرة الدخل وايجاد دائرة التوالي المكافئة

$$R_{Th} = R_1 || R_2 = \frac{(39 \text{ k}\Omega)(3.9 \text{ k}\Omega)}{39 \text{ k}\Omega + 3.9 \text{ k}\Omega} = 3.55 \text{ k}\Omega$$

$$E_{Th} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{(3.9 \text{ k}\Omega)(22 \text{ V})}{39 \text{ k}\Omega + 3.9 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ V}$$

نعيد رسم الدائرة المكافئة كما سبق إيضاحه في الشرح لحساب تيار القاعدة

$$I_B = \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E}$$

$$= \frac{2 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{3.55 \text{ k}\Omega + (141)(1.5 \text{ k}\Omega)} = \frac{1.3 \text{ V}}{3.55 \text{ k}\Omega + 211.5 \text{ k}\Omega}$$

$$= 6.05 \mu\text{A}$$

الان نستخدم تيار القاعدة لحساب تيار المجمع كالآتي:

$$I_C = \beta I_B$$

$$= (140)(6.05 \mu\text{A})$$

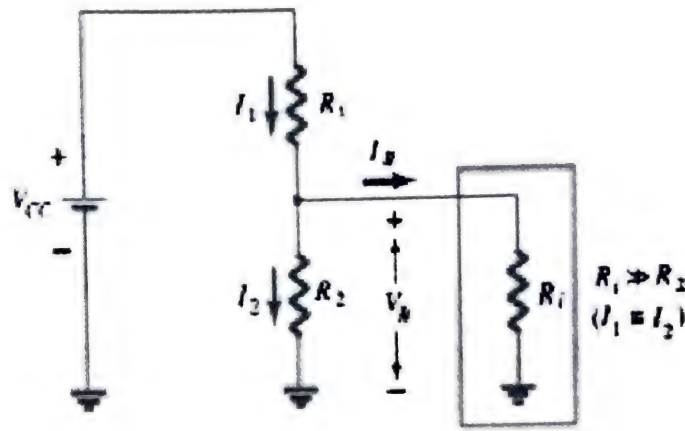
$$= 0.85 \text{ mA}$$

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على دائرة الحرج نستطيع حساب الجهد  $V_{CE}$

$$\begin{aligned}
V_{CE} &= V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \\
&= 22 \text{ V} - (0.85 \text{ mA})(10 \text{ k}\Omega + 1.5 \text{ k}\Omega) \\
&= 22 \text{ V} - 9.78 \text{ V} \\
&= 12.22 \text{ V}
\end{aligned}$$

### التحليل بطريقة التقريب - Approximate Analysis :

جزء الدخل من دائرة مجزئي الجهد تمثيله بالدائرة المبينة في الشكل (20) حيث تمثل المقاومة  $R_i$  المقاومة المكافئة بين القاعدة والارضى للترانزستور مع المقاومة  $R_E$ . وكما عرفنا في السابق ان المقاومة  $R_E$  تنعكس في دائرة الدخل بالمقدار  $R_i = (\beta + 1) R_E$ .



شكل (20): الدائرة المقربة لدائرة الدخل

فاذا كانت المقاومة  $R_i$  اكبر من المقاومة  $R_2$  في دائرة الدخل فان التيار  $I_B$  سيكون صغيرا جدا بالمقارنة مع التيار  $I_2$  (التيار يسري في المسار ذو المقاومة الاقل) وبالتالي فان التيار  $I_1$  سيكون تقريبا مساويا للتيار  $I_2$ .

فاذا افترضنا ان تيار القاعدة  $(I_B = 0)$  تقريبا فان المقاومتين  $R_1$  و  $R_2$  ستكونان موصلتان على التوالي والتياران  $(I_1 = I_2)$ .

لبدء تحليل هذا الجزء من الدائرة نبدأ بايجاد الجهد على المقاومة  $R_2$  الذي هو في الواقع هو الجهد على القاعدة عن طريق قاعدة مجزئي الجهد على النحو التالي:

$$V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}$$

حيث ان مقاومة الدخل  $R_i = (\beta + 1) R_E \sim \beta R_E$  فان هذه العلاقة سوف تستخدم في تحديد نوعية مثل هذه الدوائر. بالامكان حل الدائرة بطريقة التقريب اذا كان:

$$\beta R_E \geq 10 R_2$$

بعد ما تم تحديد جهد القاعدة  $V_B$  فانه بالامكان الحصول على جهد الباعث  $V_E$  على النحو التالي:

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

والآن يمكن إيجاد تيار الباعث حسب الاتي:

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

وباستخدام العلاقة بين التيارات التي سبق التعرف عليها في السابق نستطيع الحصول على تيار المجمع من العلاقة التالية:

$$I_{CQ} \cong I_E$$

الجهود بين المجمع والباعث يمكن الحصول عليه من خلال تطبيق قانون كيرشوف للجهود على دائرة الخرج على النحو التالي:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$

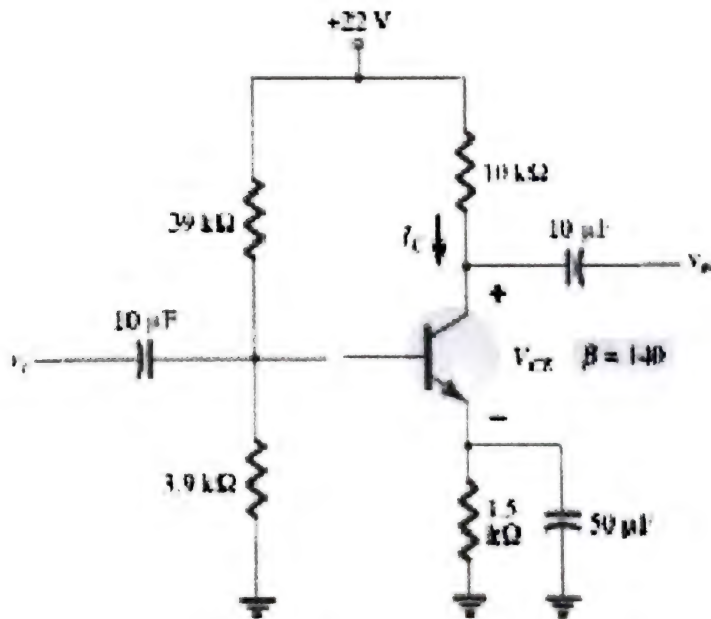
but since  $I_E \cong I_C$ .

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

من خلال السياق الذي اتبع في اثبات المعادلات الخاصة بمستوى التيارات والجهود نلاحظ عدم ظهور المعامل  $\beta$  في اي منها، كذلك لم يتم حساب تيار الدخل  $I_B$  وبالتالي فان نقطة التشغيل في هذه الحالة تم تحديدها بتيار الخرج  $I_{CQ}$  وجهد الخرج  $V_{CEQ}$  اللذان لا يعتمدان على  $\beta$ .

**مثال:-**

لنفس الدائرة في المثال السابق اعد الحل باستخدام طريقة التقريب وقارن بين النتائج





### الحل:-

في البداية يتم استخدام العلاقة التي من خلالها نستطيع حل الدائرة بالطريقة التقريبية فاذا تحققت نستمر في الحل واذا لم تتحقق فيجب حل الدائرة بالطريقة الدقيقة.

$$\begin{aligned} \beta R_E &\geq 10 R_2 & V_B &= \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} \\ (140)(1.5 \text{ k}\Omega) &\geq 10(3.9 \text{ k}\Omega) & &= \frac{(3.9 \text{ k}\Omega)(22 \text{ V})}{39 \text{ k}\Omega + 3.9 \text{ k}\Omega} \\ 210 \text{ k}\Omega &\geq 39 \text{ k}\Omega \text{ (satisfied)} & &= 2 \text{ V} \end{aligned}$$

بعد التحقق من تطبيق العلاقة نقوم بحساب جهد القاعدة كما هو مبين اعلاه في اليمين.

لاحظ ان جهد القاعدة  $V_B$  الذي تم حسابه يساوي جهد ثيفن  $E_{th}$  الذي تم حسابه في المثال السابق بالطريقة الدقيقة.

هناك فرق اساسي بين طريقة التقريب والطريقة الدقيقة الذي يتمثل في تأثير المقاومة  $R_{Th}$  التي تفصل بين جهد القاعدة  $V_B$  وجهد ثيفن  $E_{Th}$ .  
يتم الان حساب جهد الباعث و تيار المجمع كالتالي:

$$\begin{aligned} V_E &= V_B - V_{BE} \\ &= 2 \text{ V} - 0.7 \text{ V} \\ &= 1.3 \text{ V} \end{aligned} \quad I_{CQ} \cong I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1.3 \text{ V}}{1.5 \text{ k}\Omega} = 0.867 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} V_{CEQ} &= V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \\ &= 22 \text{ V} - (0.867 \text{ mA})(10 \text{ k}\Omega + 1.5 \text{ k}\Omega) \\ &= 22 \text{ V} - 9.97 \text{ V} \\ &= 12.03 \text{ V} \end{aligned}$$

نلاحظ ان الفرق بين نتائج الطريقتين فرق ضئيل جدا - كلما كبرت قيمة المقاومة  $R_i$  كلما كانت النتائج اقرب الى بعضها بين الطريقتين.

### مثال:-

اعد حل المثال السابق اذا كانت  $(\beta=70)$  وقارن بين الحلول لقيم التيار  $I_{CQ}$  و الجهد  $V_{CEQ}$ .

### الحل:-

هذا المثال ليس للمقارنة بين طريقتي التقريب والطريقة الدقيقة وانما الى اي مدى تتحرك نقطة التشغيل اذا تم تخفيض  $\beta$  الى النصف.  
مقاومة ثيفن وجهد ثيفن كما في السابق ولا تتغير وهما:

$$R_{Th} = 3.55 \text{ k}\Omega. \quad E_{Th} = 2 \text{ V}$$

$$I_B = \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E}$$

$$= \frac{2 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{3.55 \text{ k}\Omega + (71)(1.5 \text{ k}\Omega)} = \frac{1.3 \text{ V}}{3.55 \text{ k}\Omega + 106.5 \text{ k}\Omega}$$

$$= 11.81 \mu\text{A}$$

$$I_{C_Q} = \beta I_B \quad V_{CE_Q} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

$$= (70)(11.81 \mu\text{A}) \quad = 22 \text{ V} - (0.83 \text{ mA})(10 \text{ k}\Omega + 1.5 \text{ k}\Omega)$$

$$= 0.83 \text{ mA} \quad = 12.46 \text{ V}$$

الجدول التالي يبين تأثير التغير في قيمة  $\beta$

$\beta$	$I_{C_Q} \text{ (mA)}$	$V_{CE_Q} \text{ (V)}$
140	0.85	12.22
70	0.83	12.46

النتائج تبين عدم الحساسية للتغير في قيمة  $\beta$  رغم التغير الذي وصل الى النصف وبالتالي نرى ان قيم المعاملات تقريبا هو نفسه في كلا الحالتين.

### تشبع الترانزستور – Transistor Saturation

بنفس الطريقة نستطيع إيجاد قيمة تيار المجمع عند التشبع

$$I_{C_{sat}} = I_{C_{max}} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

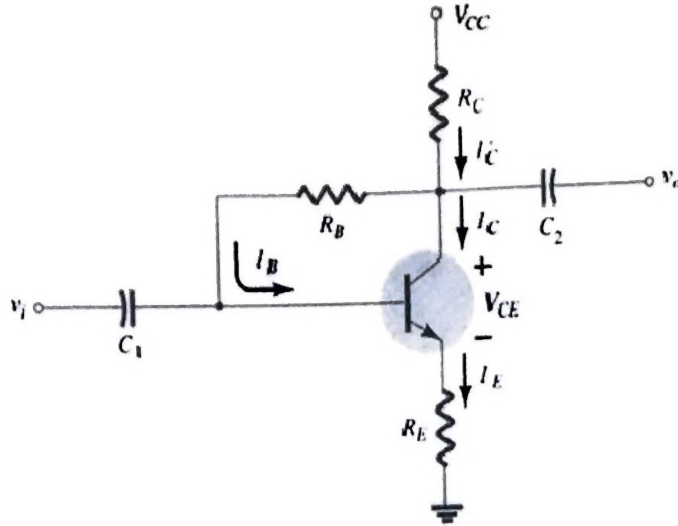
### التحليل بطريقة خط الحمل – Load – Line Analysis

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \Big|_{V_{CE}=0 \text{ V}}$$

$$V_{CE} = V_{CC} \Big|_{I_C=0 \text{ mA}}$$

كما يتم تحديد قيمة تيار القاعدة بالطرق التي سبق شرحها ومن ثم نرسم خط الحمل ونحدد نقطة التشغيل ومنها نجد تيار وجهد التشغيل للترانزستور.

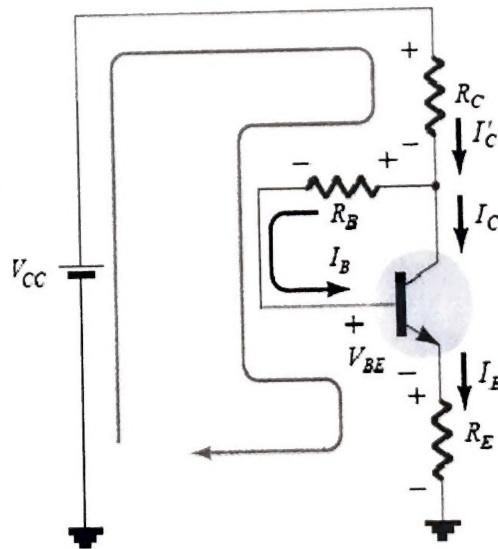
**التحيز عن طريق التغذية المرتدة (العكسية) – DC Bias With Voltage Feed Back:**  
 طريقة أخرى لتحسين مستوى استقرارية دائرة الترانزستور يمكن الحصول عليه من خلال تقديم مسار تغذية عكسية من المجمع الى القاعدة كما هو مبين في الشكل (21).



شكل (21): دائرة تحيز الترانزستور باستخدام التغذية العكسية

#### **حلقة القاعدة – الباعث – Base – Emitter Loop**

يتم تطبيق قانون كيرشوف للجهد لدائرة الدخل حلقة (القاعدة – الباعث) المبينة في الشكل (22)



شكل (21): دائرة الدخل لدائرة تحيز الترانزستور باستخدام التغذية العكسية

$$V_{CC} - I'_C R_C - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

وحيث ان :

$$I_B \ll I_C:$$

$$I'_C = I_C + I_B \cong I_C$$

ومن العلاقات السابقة نعرف ان:

$$I_C = \beta I_B \text{ and } I_E \cong I_C:$$

بالتعويض في المعادلة الاولى نحصل على الصيغة التالية:

$$V_{CC} - \beta I_B R_C - I_B R_B - V_{BE} - \beta I_B R_E = 0$$

ومنها نحصل على قيمة تيار القاعدة:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$

من الواضح ان مسار التغذية العكسية نتج عنه انعكاس المقاومة  $R_C$  في دائرة الدخل مضروبة في المقدار  $\beta$ . معادلة تيار القاعدة  $I_B$  يمكن اعادة صياغتها على النحو التالي:

$$I_B = \frac{V'}{R_B + \beta R'}$$

حيث ان  $R' = (R_C + R_E)$  والجهد  $V'$  هو عبارة عن الفرق بين مستويي الجهد. ومن العلاقة السابقة بين تيار المجمع والقاعدة  $I_C = \beta I_B$  نحصل على الصيغة التالية:

$$I_{C_Q} = \frac{\beta V'}{R_B + \beta R'}$$

اذا كانت

$$\beta R' \gg R_B \text{ and } R_B + \beta R' \cong \beta R'$$

اذن:

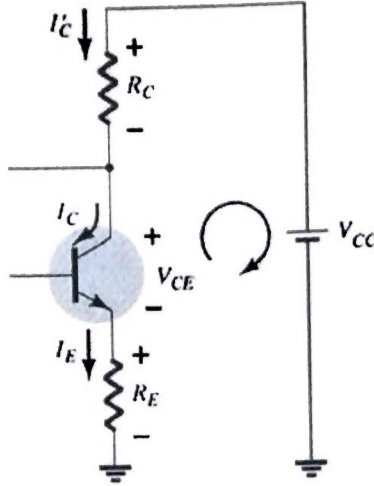
$$I_{C_Q} = \frac{\beta V'}{R_B + \beta R'} \cong \frac{\beta V'}{\beta R'} = \frac{V'}{R'}$$



هذه المعادلة توضح بشكل كامل عدم حساسية تيار المجمع في هذا النوع من دوائر التحييز الى التغير في قيمة  $\beta$ .

### حلقة (المجمع – الباعث) Collector – Emitter Loop

دائرة هذه الحلقة مبينة في الشكل (22). باستخدام قانون كيرشوف للجهد نحصل على معاملات الخرج لهذه الدائرة.



شكل (22): دائرة الخرج لدائرة تحييز الترانزستور باستخدام التغذية العكسية

$$I_E R_E + V_{CE} + I'_C R_C - V_{CC} = 0$$

وحيث ان:

$$\text{Since } I'_C \cong I_C \text{ and } I_E \cong I_C$$

اذن:

$$I_C(R_C + R_E) + V_{CE} - V_{CC} = 0$$

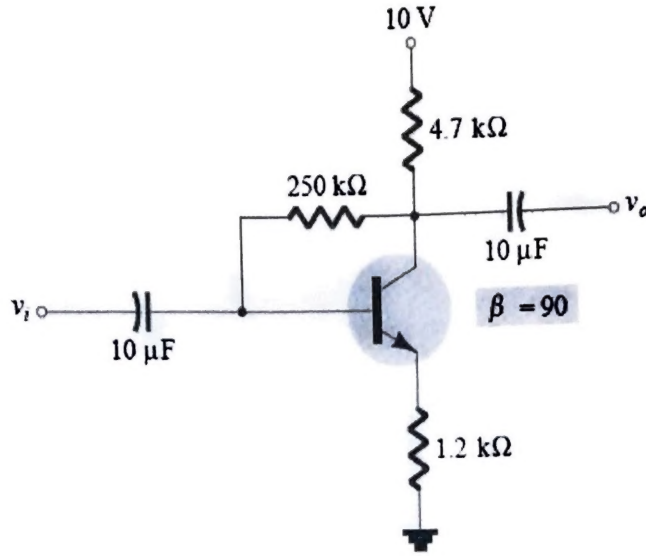
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

مثال:-

لدائرة التغذية العكسية المبينة في الشكل التالي اوجد  $I_{CQ}$  و  $V_{CEQ}$ .

الحل:-

يتم اتباع طريقة التحليل التي تم شرحها اعلاه بالتفصيل او يتم استخدام المعادلات التي تم الحصول عليها. وبتطبيق تلك المعادلات على هذا المثال نحصل.



$$\begin{aligned}
 I_B &= \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)} \\
 &= \frac{10 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{250 \text{ k}\Omega + (90)(4.7 \text{ k}\Omega + 1.2 \text{ k}\Omega)} \\
 &= \frac{9.3 \text{ V}}{250 \text{ k}\Omega + 531 \text{ k}\Omega} = \frac{9.3 \text{ V}}{781 \text{ k}\Omega} \\
 &= 11.91 \mu\text{A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{C_Q} &= \beta I_B = (90)(11.91 \mu\text{A}) \\
 &= 1.07 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{CE_Q} &= V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \\
 &= 10 \text{ V} - (1.07 \text{ mA})(4.7 \text{ k}\Omega + 1.2 \text{ k}\Omega) \\
 &= 10 \text{ V} - 6.31 \text{ V} \\
 &= 3.69 \text{ V}
 \end{aligned}$$

مثال:-

حلل الدائرة في المثال السابق اذا كانت  $(\beta=135)$  واوجد تأثيرها في القيم السابقة التي تم الحصول عليها (حلل المثال بنفسك وعلق على النتائج التي تحصل عليها)

مثال:-

للدائرة المبينة في الشكل التالي اوجد كل من  $I_B$  والجهد  $V_C$ .